

## **Коммунальное хозяйство городов**

---

вайнного шума.

1. Коржик Б.М., Губенко В.Д., Голендер В.А. Определение суммарного усилия взаимодействия при наезде колеса трамвая на стык // Наука и техника в городском хозяйстве. Вып.48. – К.: НИКТИ ГХ, 1981. – С. 44-47.

2. Губенко В.Д. Исследование процессов шумоизлучения рельсового горзлектротранспорта с целью снижения их вредного воздействия на организм человека: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1991. – 19 с.

3. ГОСТ 8802-69. Вибрация и шум. Основные понятия и определения.

4. ОСТ 24.050.18. 1971. Допустимые уровни шума и методы его измерения в вагонах пассажирских, электро- и дизель-поездов, автомотрис, трамваев и метрополитена.

5. Исследования основных источников шума рельсового подвижного состава городского транспорта / Отчет ВНИИ вагоностроения № 1758. – М., 1973. – 75 с.

6. Комплексные исследования и испытания опытных образцов трамвайных вагонов новой конструкции типа РВЗ-7 / Отчет ВНИИ вагоностроения. Гос. рег. № 75004194. – М., 1974. – 86 с.

7. Лазарян В.А. Динамика вагонов – устойчивость движения и колебания. – М.: Трансжелдориздат, 1964. – 255 с.

8. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Е.Я.Юдин, Л.А.Борисов, И.В.Горенштейн и др.; Под общ. ред. Е.Я.Юдина. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.

9. Борисов Л.П., Гужас Д.Р. Звукоизоляция в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.

10. Лопашев Л.М., Осипов Г.Л., Федосеева Е.Н. Методы измерения и нормирования шумовых характеристик. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 232 с.

11. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Под ред. Г.Л.Осипова, Е.Я.Юдина. – М.: Стройиздат, 1987. – 558 с.

*Получено 29.07.2004*

УДК 534.83

В.Э.АБРАКИТОВ, канд. техн. наук, В.А.РУСОВА

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

### **МНОГОСЛОЙНАЯ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩАЯ ПАНЕЛЬ**

Предлагается новая конструкция многослойной ограждающей панели, использующая слой пористого материала для обеспечения эффекта шумопоглощения.

Вопросы борьбы с шумом в настоящее время приобретают всё большую актуальность. Одним из путей решения этой проблемы является конструирование многослойных звукопоглощающих панелей, выполненных из пористых звукопоглотителей [1, 2].

Собственно говоря, многослойные звукопоглощающие панели хорошо известны. Однако в подробном описании механизма их действия, приведенном, например, в [3], дословно указано: “все они обладают сквозной пористостью с размерами менее 1 мм. Внутри пор может распространяться звук, затухающий из-за потерь” (по нашим данным, это верно лишь, когда  $d > 10^{-7}$  м, как это следует из нижеизло-

женного), а также “...все структурные величины (диаметр пор, диаметр волокна) очень малы по сравнению с длиной волны, что позволяет рассматривать эти материалы как однородную среду с внутренними потерями”, из-за чего подбор сочетания структурных характеристик каждого слоя ведется, в сущности, без учета их микроструктуры (что, естественно, не всегда позитивно сказывается на их свойствах в плане звукопоглощения). Хотя в работе [3] эмпирически выявлено, что “переход от свободного поля к акустически жесткой стене должен происходить за счет ступенчатого увеличения удельного сопротивления продуванию при переходе от слоя к слою”. Эта цитата в совокупности с другими данными, приведенными в [3], свидетельствует о правомерности теоретических рассуждений настоящей работы. Указанные данные (работа [3]) исходят из экспериментальных наблюдений и теорий однородного и квазиоднородного поглотителя и на этом эмпирическом уровне считается [3], что “...попытки лучше учесть микроструктуру материала... оканчивались ничем”. В то же время в настоящей работе эта проблема решается именно как проблема учета микроструктуры материала.

Многослойная звукопоглощающая панель, содержащая микроскопические звукоизолирующие устройства, представлена на рис.1. Она состоит из нескольких слоев пористого звукопоглощающего материала с различными характеристиками, обозначенных позициями I, II, III, IV. В каждом из таких слоев имеются поры, обозначенные индексом 1: поры в каждом из слоев обозначены как I<sub>1</sub>, II<sub>1</sub>, III<sub>1</sub>, IV<sub>1</sub>; поры заполнены атмосферным воздухом. Также в каждом таком слое имеется упругий каркас из твердого вещества (например, волокна) 2, обозначенный в каждом из слоев как I<sub>2</sub>, II<sub>2</sub>, III<sub>2</sub>, IV<sub>2</sub>.

Химический состав упругого каркаса 2 во всех слоях может быть одинаков (т.е. использовано одно и то же вещество, но разные слои между собой различны по размерам пор), т.е. диаметры пор  $d_I \neq d_{II} \neq d_{III} \neq d_{IV}$ . Соответственно слои различаются между собой такой характеристикой, как пористость  $h$  – отношение объема пор  $V_{пор}$ , м<sup>3</sup> к общему объему  $V_{общ}$  (м<sup>3</sup>) определяется по формуле

$$h = 1 - V_{пор} / V_{общ}.$$

Массивность  $\mu$  – отношение объема волокнистого вещества к общему объему:

$$\mu = 1 - h.$$

В связи с этим слои различаются между собой еще одной важной структурной характеристикой (взаимосвязанной с характеристиками  $h$

и  $\mu$ ): удельным сопротивлением продуванию потоком  $\Xi$ . При этом характерный размер: диаметр пор  $d_I$  в лицевом слое 1 наибольший и превышает длину свободного пробега молекул:  $d_I > l$ . Следующий 2-й слой характеризуется уменьшением диаметра пор  $d_{II}$  по сравнению с предыдущим слоем:  $d_{II} < d_I$ . В каждом последующем слое диаметр пор  $d_I$  меньше, чем в предыдущем  $d_{I-1}$ .

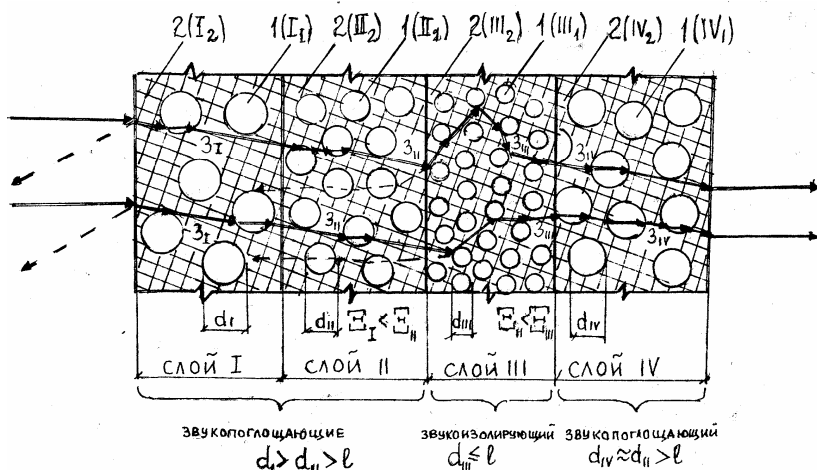


Рис.1 – Звукопоглощающая панель с микроскопическими вакуумированными звукоизолирующими устройствами:

I, II, III, IV – слои пористого материала; 1 (I<sub>1</sub>, II<sub>1</sub>, III<sub>1</sub>, IV<sub>1</sub>) – поры, заполненные атмосферным воздухом в каждом слое; 2 (I<sub>2</sub>, II<sub>2</sub>, III<sub>2</sub>, IV<sub>2</sub>) – упругий каркас в каждом слое; 3 (3<sub>I</sub>, 3<sub>II</sub>, 3<sub>III</sub>, 3<sub>IV</sub>) – направление распространения звуковой волны.

Аэродинамика такой компоновки слоев (в каждом последующем слое диаметр пор меньше, чем в предыдущем, вплоть до их уменьшения до размера  $d \leq 10^{-7}$ ) предусматривает ступенчатое увеличение удельного сопротивления продуванию потоком  $\Xi$  по общей толщине многослойной звукопоглощающей панели.

Количество слоев может быть больше 4. Увеличение числа слоев только увеличивает эффективность звукопоглощающей панели в плане борьбы с шумом.

Принцип работы устройства состоит в следующем. Звуковая волна, направление распространения волнового фронта которой представлено лучами 3, входит извне (из воздушной среды) в лицевой слой 1, при этом часть звуковой энергии отражается на границе раздела сред “воздух – слой 1”. Оставшаяся часть, обозначенная в примыкающем к

границе раздела слое 1 как луч  $Z_I$ , проходит этот слой 1. При этом изначально ее плоский волновой фронт трансформируется из-за наличия пор  $1_I$ . Звуковая энергия по указанным выше причинам, поглощаясь, распространяется как внутри пор 1, так и вне их по упругому каркасу 2. То же самое происходит в следующем слое 2. Наличие двух и более слоев, различающихся между собой размерами пор, позволяет уменьшить коэффициент отражения  $\rho$  лицевой поверхности. Для слоя 1 на границе раздела “воздух – слой 1” коэффициент отражения  $\rho$  имеет основное значение, так как является характеристикой, по которой в конечном итоге определяется эффективность устройства. Таким образом, у слоя 1 коэффициент пропускания звука  $\tau$  стремится к минимуму, однако он достаточно велик. Для последующих слоев за счет уменьшения диаметра пор  $d$  (соответственно увеличения пути, проходимого звуковой волной внутри указанных слоев) коэффициент пропускания  $\tau$  звука уменьшается и  $\tau_{II} < \tau_I$ , коэффициент отражения звука на границах раздела слоев в каждой паре слоев увеличивается:  $\rho_{II} > \rho_I$ . Вследствие этого коэффициент поглощения звука  $\alpha$  постепенно нарастает по толщине панели. Однако в традиционных конструкциях устройств аналогичного назначения звук, пройдя эти крупнопористые слои, выходит наружу (насквозь) с обратной стороны звукопоглотителя. Существенным отличием предлагаемой конструкции является наличие “звукоизолирующих слоев”. Благодаря наличию микропор, где поддерживается условие  $l > d$ , коэффициент пропускания  $\tau_{III}$  такого слоя значительно меньше коэффициентов пропускания предыдущих слоев, что ведет к тому, что значительная часть звуковой энергии (на рис.1 обозначена как луч  $Z_{III}$ ) отражается от него обратно в предыдущие слои 2 и 1, которые благодаря этому повторно задействуются для поглощения звука. По указанным выше причинам часть звуковой энергии проходит слой 3, поэтому за ним предусмотрен еще звукопоглощающий слой 4, служащий для дополнительного поглощения энергии (луч  $Z_{IV}$ ) на выходе из обратной стороны звукопоглощающей панели.

Интересной особенностью вакуумированных звукоизолирующих устройств является отсутствие зависимости между звукоизолирующей способностью и внешним акустическим воздействием (интенсивностью звука, попадающего на такое устройство, его частотой и другими акустическими параметрами). Однако имеет место наличие зависимости между звукоизолирующей способностью и метеорологическими элементами (параметрами микроклимата) окружающей среды, в част-

ности ее температурой и атмосферным давлением (влияние этих параметров вытекает из формулы для расчета длины свободного пробега молекул, приведенной выше). А поглощение звука пористыми материалами было объяснено нами как следствие звукоизолирующих свойств их пор, представляющих собой вакуумированные полости.

Вышеизложенные теоретические предпосылки послужили основой создания многослойных звукопоглощающих панелей. Указанные звукопоглощающие панели обеспечивают снижение уровня звука на 8-10 дБа, что подтверждается данными измерений на лабораторном стенде, который показан на рис.2. Они могут быть применены самостоятельно в виде ограждающих конструкций в помещениях, где имеются мощные источники шума (производственное оборудование и т.п.), а также в качестве дополнительного звукопоглощающего покрытия на традиционных звукоизолирующих панелях.

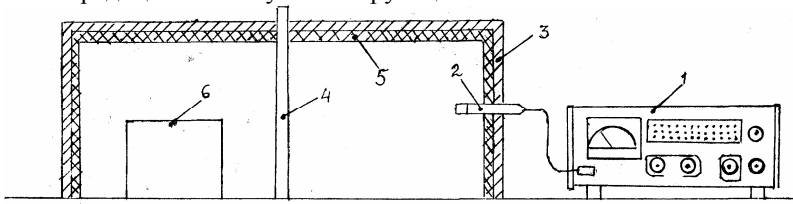


Рис.2. Лабораторный стенд:

- 1 – шумомер ВШВ-003; 2 – микрофонный капсюль М-101;  
3 – звукоизолирующий кожух; 4 – образец исследуемой конструкции (панели);  
5 – звукопоглощающий материал; 6 – источник шума.

Применение предлагаемых технических решений открывает широкие перспективы на пути дальнейшего совершенствования конструкций разного рода устройств, предназначенных для борьбы с шумом. Методика подбора их расчетных параметров позволяет оптимизировать условия выбора наиболее рациональных инженерных решений конструкций таких устройств, которые нашли широкое применение в технике.

1.Абракитов В.Э., Данова К.В. Влияние микроструктуры пористых материалов на их звукопоглощающие свойства. // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.42. – К.: Техніка, 2002. – С.190-194.

2.Абракитов В. Э. Микроструктура пористых материалов и их звукопоглощающая способность // Тез. докл. XXVII науч.-техн. конф. ХИИГХ. – Харьков, 1994. – С.59-60.

3.Снижение шума в зданиях и жилых районах / Под ред. Г.Л.Осипова и Е.Я.Юдина. – М.: Стройиздат, 1987. – 497 с.

*Получено 26.07.2004*